

Karakteristik Tegangan Tembus Gas CO₂ Dengan Menggunakan Pembangkit Tegangan Tinggi DC Polaritas Positif

Noviansyah*, Fri Murdiya**

*Alumni Teknik Elektro Universitas Riau**Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Riau
Email : noviansyah71@yahoo.com

ABSTRACT

The Sulfur hexafluoride (SF₆) gas is the most widely used in high voltage applications, such as in gas insulated switchgear (GIS) and the gas circuit breaker (GCB) due to good insulation performance. However, SF₆ gas has very serious problems for the environment, namely the global warming potential is very high. Of course, the study of alternative gas is required such as carbon dioxide (CO₂), nitrogen (N₂), and others for high voltage insulation. From the results of breakdown test on CO₂ gas with the needles electrodes configuration or the spheres electrodes for several pressure gas level at 1 bar, 2 bars, 3 bars, and 4 bars, respectively, show the breakdown voltage of CO₂ gas is proportional to pressure gas. Then, from the research data were also obtained that the breakdown voltage of CO₂ gas is greater than the air. The analysis of weibull distribution weibull probability indicates that the voltage for the breakdown voltage of CO₂ gas is proportional to the pressure of the gas. breakdown voltage also proportional to the distance between the needle-needle electrodes or sphere electrodes.

Key words: CO₂ gas, weibull distribution, breakdown voltage

1. PENDAHULUAN

Isolasi merupakan bagian yang penting pada sistem tenaga listrik. Isolasi berfungsi untuk memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang bertegangan sehingga antara penghantar-penghantar tidak terjadi lompatan listrik atau busur api. Isolasi terbagi menjadi tiga jenis yaitu isolasi gas, cair, dan padat. Ketiga jenis isolasi ini digunakan sesuai dengan kebutuhan pengisolasiannya masing-masing. Isolasi gas merupakan isolasi yang sangat banyak digunakan pada saat ini. Udara, Sulfur hexafluoride (SF₆), dan isolasi vakum merupakan jenis dari isolasi gas yang sudah sangat terkenal dan luas penggunaannya dalam hal pengisolasian peralatan sampai saat ini. Penggunaan yang luas tentunya menimbulkan masalah dari bahan isolasi gas ini sehingga dibutuhkan penelitian sebelum penggunaannya.

Dari latar belakang diatas, penulis mencoba meneliti pada gas lain yaitu gas CO₂ sebagai alternatif gas SF₆, yang potensi

pemanasan globalnya yang rendah dibandingkan dengan gas SF₆. Selain itu, pada peneliti terdahulu melakukan penelitian siklus hidup (*a life cycle assessment*) untuk evaluasi dampak lingkungan gas CO₂ sebagai media alternatif. Penelitian tersebut menyatakan bahwa dampak lingkungan dapat berkurang hingga 45%.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mekanisme Kegagalan Townsend

Pada proses primer, elektron yang dibebaskan bergerak cepat sehingga timbul energi yang cukup kuat untuk menimbulkan banjir elektron. Jumlah elektron N_e pada lintasan sejauh dx akan bertambah dengan dN_e , sehingga elektron bebas tambahan yang terjadi dalam lapisan dx adalah $dN_e = a N_e dx$. Ternyata jumlah elektron bebas dN_e yang bertambah akibat proses ionisasi sama besarnya dengan jumlah ion positif dN_+ baru yang dihasilkan, sehingga :

$$dNe = dN_+ = a \cdot Ne \cdot (t) \cdot dt$$

Dimana :

a = koefisien ionisasi Townsend

dN_+ = jumlah ion positif baru yang dihasilkan

Ne = jumlah total electron

V_d = kecepatan lurus elektron

Pada medan *uniform*, a konstan, $Ne = N_0$, $x = 0$ sehingga $Ne = N_0 \varepsilon^{a \cdot x}$. Jumlah elektron yang menumbuk anoda per detik sejauh d dari katoda sama dengan jumlah ion positif yaitu $N_+ = N_0 \varepsilon^{a \cdot x}$. Jumlah elektron yang meninggalkan katoda dan mencapai anoda adalah :

$$Ne = \frac{N_0 \varepsilon^{a \cdot d}}{1 - \gamma [\varepsilon^{a \cdot d} - 1]}$$

Dan arus elektron

$$I = \frac{I_0 \varepsilon^{a \cdot d}}{1 - \gamma [\varepsilon^{a \cdot d} - 1]}$$

Arus ini akan naik terus sampai terjadi peralihan menjadi pelepasan yang bertahan sendiri. Peralihan ini adalah percikan dan $1 - [\varepsilon - 1] = 1$ diikuti oleh perubahan arus dengan cepat dimana karena $\varepsilon^{a \cdot d} \gg 1$ maka $\frac{1}{\varepsilon^{a \cdot d}}$ secara teoritis menjadi tak terhingga, tetapi dalam praktek hal ini dibatasi oleh impedansi rangkaian yang menunjukkan mulainya percikan.

2.2 Mekanisme Kegagalan Streamer

Ciri utama kegagalan *streamer* adalah postulasi sejumlah besar foto ionisasi molekul gas dalam ruang di depan *streamer* dan pembesaran medan listrik setempat oleh muatan ruang ion pada ujung *streamer*. Muatan ruang ini menimbulkan *distorsi* medan dalam sela. Ion positif dapat dianggap *stasioner* dibandingkan elektron-elektron yang bergerak cepat dan banjir elektron terjadi dalam sela dalam awan elektron yang membelakangi muatan ruang ion positif.

Mekanisme *Townsend* ketika diterapkan dalam *breakdown* pada tekanan atmosfer, ternyata mempunyai beberapa kekurangan.:

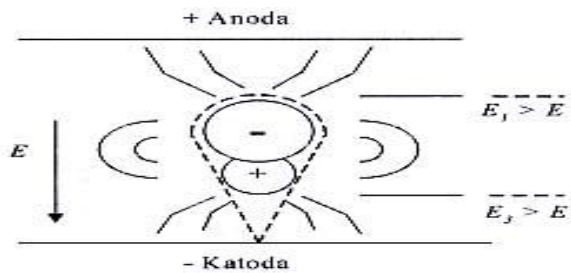
- Menurut Teori *Townsend*, pertumbuhan hanya arus muncul sebagai hasil dari proses-proses ionisasi. Tapi ternyata pada prakteknya, tegangan *breakdown* yang ditemukan bergantung pada tekanan gas dan ukuran dari celah.
- Mekanisme tersebut diperkirakan perbedaan waktu berdasarkan urutan dari 10-5 detik, sementara dalam praktek nyatanya, *breakdown* ditemukan muncul dalam waktu-waktu yang sangat singkat berdasarkan urutan dari 10-8 detik.
- Mekanisme *Townsend* memperkirakan bentuk yang sangat panjang dari penghentian arus, ternyata pada kenyataannya, penghentian arus ditemukan merupakan hal yang biasa.

Mekanisme *Townsend* juga gagal dalam menyelesaikan semua fenomena yang telah diobservasi dan sebagai hasilnya, sekitar tahun 1940, Raether, Meek dan Loeb secara terpisah mengajukan Teori *Streammeter*.

Teori *Streammeter* ini memperkirakan perkembangan dari sebuah percikan yang muncul langsung dari sebuah longsor tunggal dimana arus dikembangkan oleh longsor tersebut, dan merubah bentuk dari longsor menjadi pita plasma. Perhatikan Gambar 2.1, sebuah elektron tunggal berawal dari katoda dengan ionisasi membentuk sebuah longsor yang menyeberangi celah. Elektron-elektron dalam longsor ini bergerak sangat cepat jika dibandingkan dengan ion-ion positif.

Pada saat elektron-elektron mencapai anoda, ion-ion positif berada pada posisi sebenarnya dan membentuk sebuah medan positif pada anoda. Hal ini akan menaikkan medan, dan longsor-longsor kedua akan terbentuk dari beberapa elektron yang dihasilkan dari proses foto-ionisasi. Hal ini akan muncul pertama-tama didekat anoda dimana tekanan ruang dalam keadaan maksimum. Hasil ini akan meningkatkan lebih jauh tekanan dalam ruang. Proses ini terjadi sangat cepat dan ruangan dengan arus positif akan ditambahkan pada katoda dengan sangat

cepat sebagai hasil dari pembentukan sebuah pita.

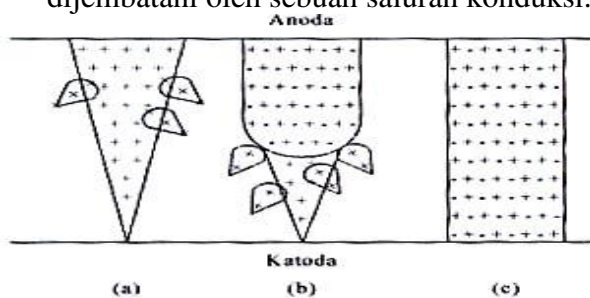


Gambar 2.1 Efek muatan ruang akibat banjir elektron

Jalur-jalur sempit bercahaya yang muncul pada *breakdown* saat tekanan tinggi di sebut pita (*streamer*) pada saat ujung dari pita mendekati katoda, sebuah titik katoda akan terbentuk, dan sebuah arus dari elektron-elektron bergerak cepat dari katoda untuk menetralkan medan positif dari pita, hasilnya adalah sebuah percikan dan *breakdown* percikan telah muncul.

Tiga tahapan yang berurutan dalam perkembangan dari pita ini ditunjukkan secara diagram pada gambar 2.3. dimana:

- Menunjukkan tahap dimana longsor telah menyeberangi celah.
- Menunjukkan bahwa pita telah menyeberangi setengah dari panjang celah.
- Menunjukkan bahwa celah telah dijembatani oleh sebuah saluran konduksi.



Gambar 2.3 *Streamer* langsung katoda

2.3 Distribusi Weibull

Distribusi Weibull adalah salah satu distribusi kontinu. Distribusi ini dinamai oleh Waloddi Weibull pada tahun 1951. Setiap pola distribusi statistika memiliki parameter tersendiri, distribusi weibull mempunyai 2 parameter yaitu *shape parameter* (parameter bentuk), *scale parameter* (parameter skala).

1. *Shape Parameter* (parameter bentuk)

Parameter bentuk, seperti namanya membantu menentukan bentuk distribusi. Parameter bentuk yang menunjukkan laju kerusakan data dari distribusi Weibull. Beberapa distribusi, seperti eksponensial atau normal, tidak memiliki parameter bentuk karena mereka memiliki bentuk standar yang tidak berubah. Dalam kasus distribusi normal, bentuknya selalu bentuk lonceng akrob.

2. *Scale Parameter* (parameter skala)

Parameter skala adalah jenis yang paling umum dari parameter. Parameter skala yang menunjukkan besarnya keragaman data distribusi Weibull. Semakin besar nilai dari parameter skala, maka distribusi data akan semakin menyebar. Mayoritas distribusi dalam keandalan atau bidang analisis *survival* memiliki parameter skala. Dalam kasus satu-parameter distribusi, parameter satunya adalah parameter skala. Skala parameter mendefinisikan di mana sebagian besar distribusi terletak, atau bagaimana mengulurkan distribusinya. Dalam kasus distribusi normal, parameter skala adalah standar deviasi.

Metode analisis terbagi atas 3 jenis yaitu, metode *Maximum Likelihood Estimator* (MLE), *Method of Moments* (MOM), *Least Square Method* (LSM). Dalam skripsi ini digunakan *Least Square method* (LSM) untuk menghitung parameter distribusi weibull karena lebih simpel dan praktis. *Least Square Method* (LSM) merupakan salah satu metode analisis yang digunakan untuk menghitung 2 parameter distribusi weibull.

Fungsi peluang kumulatif adalah:

$$F(t) = 1 - R(t)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$$

$$1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$$

$$F(t) = \frac{1}{(n+1)}$$

Lakukan $2x$ logaritma natural pada persamaan agar dapat persamaan linier:

$$\ln \ln \frac{1}{1-F(t)} = \beta \ln(t) - \beta \ln \alpha$$

Misalkan : $\ln \ln \frac{1}{1-F(t)} = Y$

$\ln(t) = X$

$$y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln(\ln(\frac{1}{1-F(t)})))$$

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln t(i)$$

$\beta =$

$$\frac{\{n \sum_{i=1}^n (\ln t(i)) \cdot (\ln(\ln(\frac{1}{1-F(t)})))\} - \{\sum_{i=1}^n \ln(\ln(\frac{1}{1-F(t)}))\} \cdot \sum_{i=1}^n \ln t(i)}{\{n \sum_{i=1}^n \ln t(i)^2\} - \{\sum_{i=1}^n \ln t(i)\}^2}$$

$$\alpha = e^{y-x/\beta}$$

Dimana :

$F(t)$ = Fungsi Peluang Kumulatif

β = Shape Parameter

α = Scale Parameter

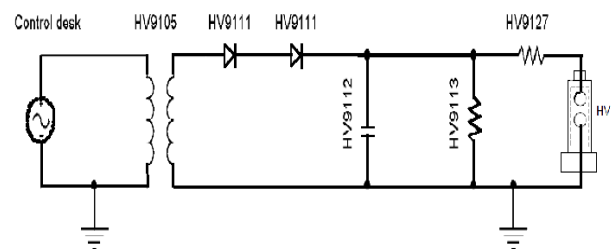
n = Jumlah Kumulatif Kegagalan

3 METODE PENELITIAN

Untuk mencapai tujuan dari penelitian ini digunakan metode *eksperimen* yang mana data-data tersebut didapat dari hasil pengukuran sesuai dengan parameter-parameter yang telah ditetapkan dalam penelitian ini. Langkah-langkah yang

dilakukan dalam *eksperimen* tersebut terutama adalah:

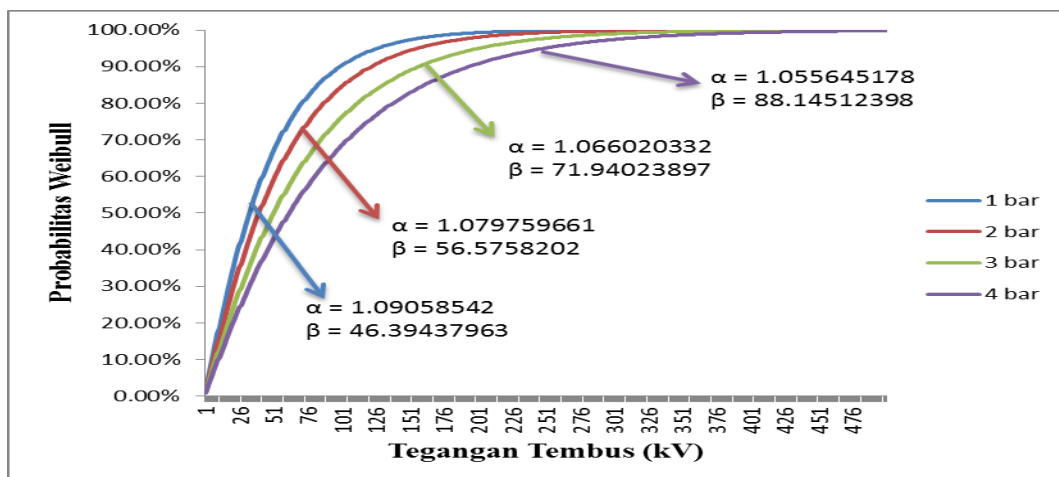
1. Mengatur sela elektroda.
2. Memasukan gas CO₂ kedalam tabung uji.
3. Mengatur tekanan gas CO₂ pada tabung uji.
4. Pengujian tegangan tembus pada isolasi gas CO₂.



Gambar 3.5 Rangkaian pangujian

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Elektroda Bola-Bola Jarak Sela 0.5 cm



Gambar 4.1 Kurva tegangan tembus gas CO₂ elektroda bola-bola jarak sela 0.5 cm

Dari gambar 4.1 dapat disimpulkan bahwa elektroda bola-bola dengan jarak sela 0,5 cm, tegangan tembus akan naik apabila tekanan pada gas dinaikan. Saat nilai kurva probabilitas weibull mencapai 100% artinya

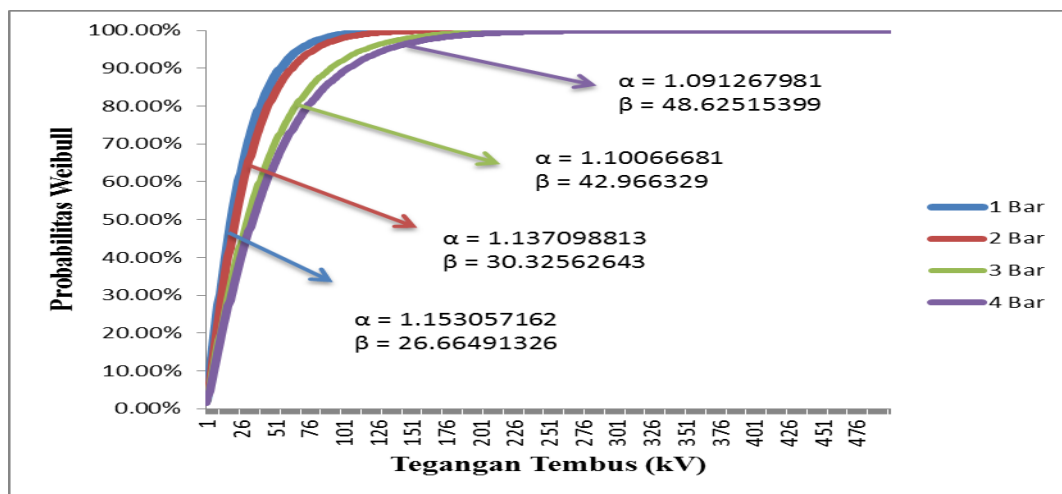
apabila percobaan dilakukan 20 kali dengan metode yang sama, maka keseluruhan percobaannya akan dipastikan mengalami tegangan tembus (*breakdown voltage*), begitu juga nilai kurva probabilitas weibull pada 50%

artinya apabila percobaannya 20 kali maka kemungkinan tembusnya 10 kali dan 10 kali tidak akan mengalami tembus listrik.

Dapat dilihat pada kurva gambar 4.1 tegangan tembus pada kurva tekanan gas 1 bar, 2 bar, 3 bar dan 4 bar nilai probabilitas weibull pada 100% tegangan tembusnya naik sesuai tekanannya. Pada tekanan 1 bar dengan tegangan 200 kV, 2 bar dengan tegangan 250 kV, 3 bar dengan tegangan 326 kV dan 4 bar

dengan tegangan 426 kV. Pada nilai probabilitas weibull 50 % tembus listrik pada setiap tekanan juga berbeda-beda sesuai dengan tekanannya. Pada tekanan 1 bar dengan tegangan 26 kV, 2 bar dengan tegangan 35 kV, 3 bar dengan tegangan 51 kV dan 4 bar dengan tegangan 75 kV.

2. Elektroda jarum- jarum Jarak Sela 0,5 cm

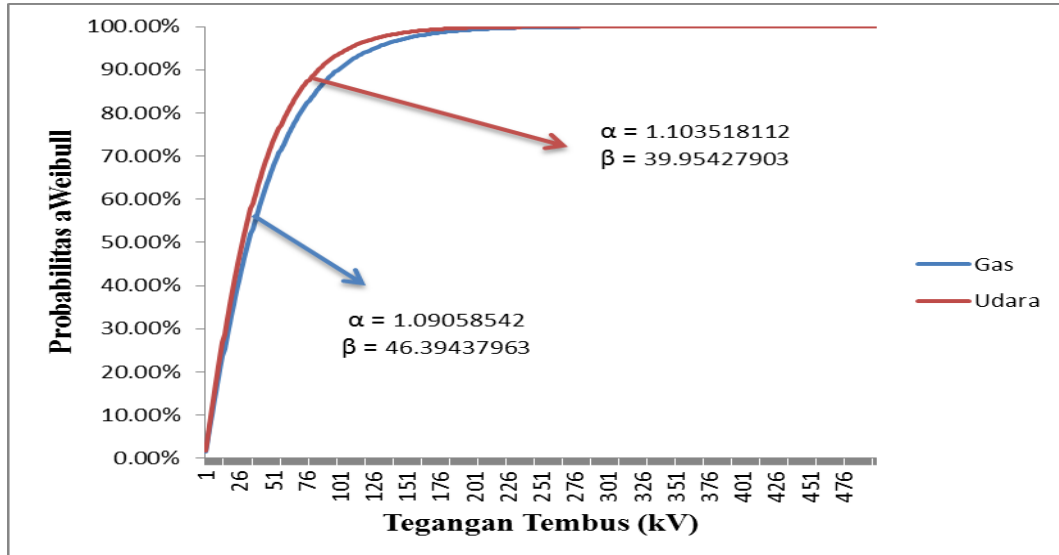


Gambar 4.2 kurva tegangan tembus gas CO₂ elektroda jarum-jarum jarak sela 0.5 cm

Pada elektroda jarum-jarum dengan jarak sela 0,5 cm probabilitas tegangan tembusnya dapat dilihat pada kurva gambar 4.2. Pada kurva tersebut bahwa semakin tinggi tekanan gas maka semakin tinggi tegangan tembus yang akan terjadi. Pada nilai probabilitas weibull 100% tegangan tembus pada elektroda jarum-jarum sela 0,5 cm dengan tekanan 1 bar pada

tegangan 97 kV, tekanan 2 bar pada tegangan 110 kV, tekanan 3 bar dengan tekanan 193 kV dan pada tekanan 4 bar pada tegangan 217 kV. Sedangkan pada nilai probabilitas weibull 50% tegangan tembusnya dengan tekanan 1 bar pada tegangan 25 kV, tekanan 2 bar pada tegangan 25 kV, tekanan 3 bar pada tegangan 49 kV, da 4 bar pada tegangan 49 kV.

3. Perbandingan gas CO₂ dengan isolasi udara Elektroda Bola-bola Jarak Sela 0,5 cm Pada Tekanan 1 Bar

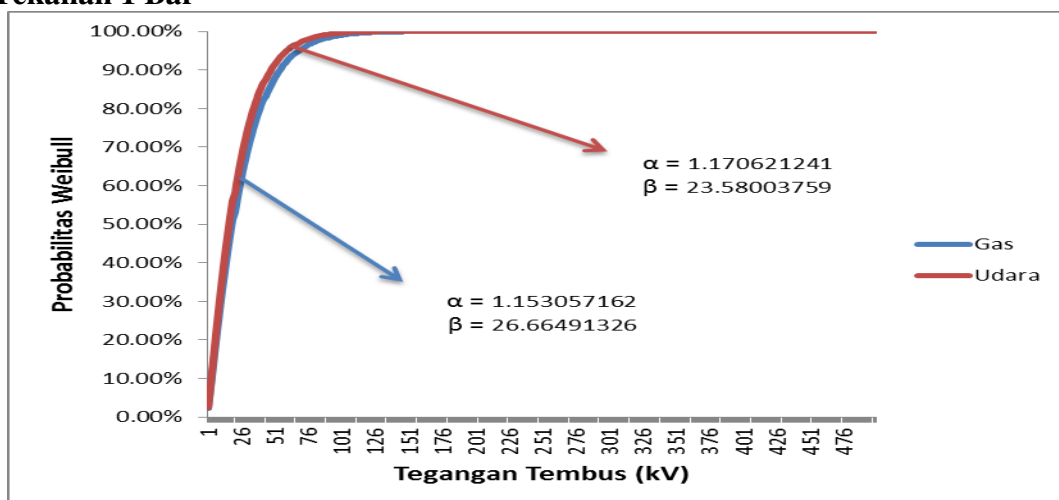


Gambar 4.3 Kurva perbandingan tegangan tembus gas CO₂ dengan udara elektroda bola-bola jarak sela 0.5 cm dengan tekanan 1 bar

Pada kurva gambar 4.3 dengan elektroda bola-bola dengan jarak sela 0,5 cm dapat kita lihat perbandingan antara gas CO₂ lebih baik dari tegangan tembus isolasi udara pada tekanan 1 bar. Pada nilai probabilitas

weibull 100% kurva tegangan tembus pada tekanan gas adalah 201 kV, dan pada tekanan udara adalah 176 kV. Pada nilai probabilitas weibull 50% untuk tekanan gas adalah 30 kV, dan pada tekanan udara adalah 26 kV.

4. Perbandingan gas CO₂ dengan isolasi udara Elektroda Jarum-jarum Jarak Sela 0,5 cm Pada Tekanan 1 Bar



Gambar 4.4 Kurva perbandingan tegangan tembus gas CO₂ dengan udara elektroda jarum-jarum jarak sela 0.5 cm dengan tekanan 1 bar

Pada gambar 4.4 dengan elektroda jarum-jarum dengan jarak sela 0,5 cm dapat kita lihat tegangan tembus pada gas CO₂ lebih baik dari isolasi udara dengan tekanan 1 bar. Pada nilai probabilitas weibull 100% tegangan tembus pada gas CO₂ dengan tekanan 1 bar adalah 126 kV, sedangkan pada nilai distribusi

weibull 50% tegangan tembusnya 26 kV. Untuk isolasi udara pada nilai distribusi weibull 100% tegangan tembusnya adalah 100 kV, sedangkan pada nilai distribusi weibull 50% tegangan tembusnya adalah 20 kV.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Gas CO₂ merupakan gas yang ramah lingkungan dibandingkan dengan gas SF₆ yang telah banyak digunakan pada tegangan tinggi.
2. Pada penelitian ini menggunakan tegangan tegangan tinggi DC polaritas positif.
3. Hasil penelitian apabila tekanan pada gas dan jarak sela elektroda dinaikan maka tegangan tembus akan bertambah tinggi.
4. Pada elektroda bola-bola tegangan tembusnya lebih tinggi dari elektroda jarum-jarum karena pada elektroda bola-bola daerah untuk menerima tegangan tembus menyebar keseluruh permukaan bola-bola dibandingkan elektroda jarum-jarum dengan daerah untuk menerima tegangan tembus fokus satu titik.
5. Perbandingan dengan udara pada penelitian ini tegangan tembusnya tidak terlalu jauh berbeda, namun dari segi kemampuan dalam memadamkan api gas CO₂ lebih baik dari gas lain.
6. Pada hasil penelitian ini menggunakan metode distribusi weibull untuk mencari nilai kemungkinan/probabilitas yang akan terjadi apabila kita melakukan pengujian berulang kali.

5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan media gas lain atau campuran antara gas lain.
2. Diharapkan juga pada penelitian selanjutnya menggunakan tegangan tinggi DC dengan polaritas negatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Siswanto, *Analisa Perbandingan Nilai Tegangan Tembus Dielektrik Udara Pada Kondisi Basah Dengan Cairan Dominan Asam, Basa, Garam, Cairan Hujan Di Wilayah Pantai, Dan Di Kawasan Industri Dengan Elektroda Bola-Bola, Dan Elektroda Jarum-Jarum*, Semarang: Universitas Diponegoro.
- Naidu M.S. dan Kamaraju V, 1995. *High Voltage Engineering second Edition*, Mc. Graw Hill, Boston
- Tsuyoshi Kiyan, Akihiro Uemura, Bhupesh C. Roy, et al, *Negative DC Prebreakdown Phenomena and Breakdown-Voltage Characteristics of Pressurized Carbon Dioxide up to Supercritical Conditions*, IEEE Transactions On Plasma Science vol. 35, no. 3, june 2007
- Hao Sun, Mingzhe Rong, Yi Wu, et al, *Investigation on critical breakdown electric field of hot carbon dioxide for gas circuit breaker applications*, Republic of China: Xi'an Jiaotong University, 2015
- Sadaoui F. and Beroual A, 2014, *DC Creeping Discharges over Insulating Surfaces in Different Gases and Mixtures*, France: University of Lyon
- I Made Indra Wijaya, *Karakteristik Korona Dan Tegangan Tembus Isolasi Minyak Pada Konfigurasi Elektroda Jarum-Plat*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Bonggas L Tobing, 2012. *Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
- Kai Zhu, Xingwen Li, Xu Jiang, et al, *Experimental Study On Characteristics*

*Of Co2 And Its Gas Mixtures With Sf6
For High Voltage Gas Circuit
Breakers*, Republic of China: Xi'an
Jiaotong University

Wildan Rahadian Putra, I Made Yulistya
Negara, IGN Satriyadi, *Pengaruh
Bentuk dan Material Elektrode
terhadap Partial Discharge*, Surabaya:
Institut Teknologi Sepuluh
Nopember, 2015

Abdul Syakur, Mochammad Facta, 2005,
*Perbandingan Tegangan Tembus
Media Isolasi Udara Dan Media
Isolasi Minyak Trafo Menggunakan
Elektroda Bidang-Bidang*, Semarang:
Universitas Diponegoro